

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

**Учёт неоднородного статического магнитного поля при расчёте
дисперсионных характеристик поверхностных магнитоэлектрических
волн.**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления: 03.03.01. – Прикладная математика и физика
Факультета нелинейных процессов
Левицкой Кристины Вячеславовны

Научный руководитель
к.ф.-м.н, доцент

подпись, дата

А.В.Садовников

Зав. кафедрой
д.ф.-м.н, профессор

подпись, дата

Н.М.Рыскин

Саратов 2016 г.

Введение

Актуальность работы. Волны МСВ на практике применяются уже несколько десятилетий, поэтому их изучение на практике представляет особый интерес. Широкие исследования свойств МСВ начались после освоения высококачественных пленок ЖИГ [6], обладающих высокой однородностью параметров и малыми магнитными потерями. В таких пленках МСВ легко возбуждаются и распространяются на достаточно большие расстояния [7]. Они могут быть использованы для обработки сигналов в диапазоне СВЧ в реальном масштабе времени [4], спутниковом телевидении [8], фазированных антенных решётках, в работе с одномерными магнитными кристаллами [5], [10].

Целью данной работы является исследование распространения магнитоэлектрических волн в ферритовом волноводе с неоднородным распределением внутреннего магнитного поля.

Задачи, решаемые в настоящей бакалаврской работе можно разделить на два класса:

1. расчет дисперсионных характеристик в структуре с неоднородным распределением внутреннего статического магнитного поля,
2. расчет электродинамических характеристик МСВ с учётом затухания в ферритовых волноведущих структурах (слоистую структуру металл-диэлектрик-феррит-диэлектрик-металл.)

В главе №1 «ферритовые среды , уравнение Ландау-Лифшица. Вывод тензора магнитной проницаемости» рассматриваются: ФМР (ферро-магнитный резонанс), виды дисперсии МСВ, ПМСВ, ОМСВ, ООМСВ и их основные характеристики, методы численного моделирования, расчет МКЭ спектра ширинных мод в пакете программ COMSOL ЖИГ волновода. Глава №2 «ЖИГ волновод конечной ширины в случае касательного намагничивания» состоит из трёх подразделов: дисперсионные характеристики для однородного и неоднородного, построение

распределения внутреннего неоднородного поля в пакете программ COMSOL в ферритовом волноводе, построение 1, 2, 3 моды для поля 600 Э. Расчет 1, 2 и 3ей моды в ЖИГ в COMSOL ширинные моды, распределение $|E|$ и $|H|$ и распределение намагниченности. Рассмотрение двух случаев – однородное и неоднородное распределение внутреннего поля ЖИГ волновода.

Основное содержание работы

В Главе 1 был аналитически получен тензор высокочастотной магнитной проницаемости $\vec{\mu}$ для случая касательно намагниченной ферритовой плёнки:

$$\vec{\mu} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu & j\mu_a \\ 0 & -j\mu_a & \mu \end{vmatrix}.$$

Были представлены виды дисперсии МСВ, ПМСВ, ОМСВ, ООМСВ и их основные характеристики. Поверхностные и объемные МСВ существенно разнятся по возможности управления их характеристиками за счет внешних факторов (металлических нагрузок). Если ПМСВ позволяют осуществлять любой требуемый закон дисперсии только за счет внешних факторов, то объемные волны такой возможностью практически не обладают. В этом смысле объемные МСВ занимают промежуточное положение между поверхностными магнитостатическими волнами и акустическими волнами и в кристаллах. Однако объемные МСВ обладают рядом других преимуществ перед поверхностными, особенно – при продвижении в область высоких частот.

Для численного моделирования такой структуры используем метод конечных элементов реализованный в программном продукте Comsol. При моделировании МКЭ необходимо разбить расчетную область на конечные элементы треугольной формы. В данном случае была выбрана треугольная сетка с минимальным размером элемента $d_{\min}=0.183$ мкм и максимальным размером элемента $d_{\max}=48.8$ мкм. На рис.1 приведена схема разбиения расчетной области, при этом видно, что размер треугольного элемента уменьшался на границах и изломах ферритовой структуры.

В Главе 2, с помощью численного решения методом конечных элементов системы уравнений Максвелла, проведен расчет электродинамических характеристик МСВ, распространяющихся в

ферритовых волноводах конечной ширины.

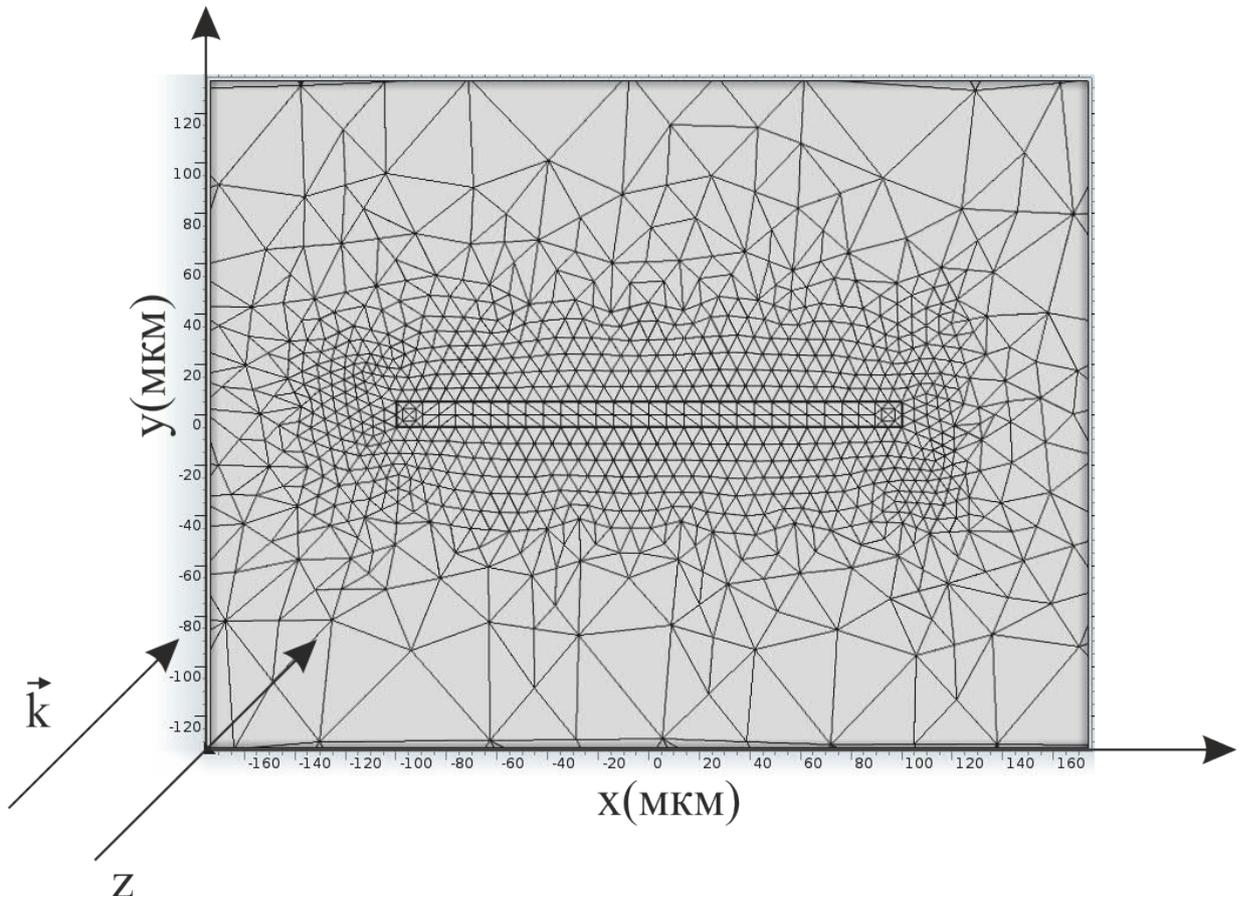


Рис. 1 Схема разбиения расчетной области на конечные элементы треугольной формы.

Решение было выполнено в программной среде физического моделирования COMSOL Multiphysics для различных граничных условий расчетной области. Так же построены дисперсионные характеристики для однородного и неоднородного полей.

На рис.2 представлена дисперсионная характеристика для однородного поля первых трех ширинных мод ПМСВ в исследуемом волноводе. Эти кривые представлены на графике. По оси ординат отложены частоты в МГц в допустимом частотном диапазоне. По оси абсцисс отложены волновые числа в обратных метрах.

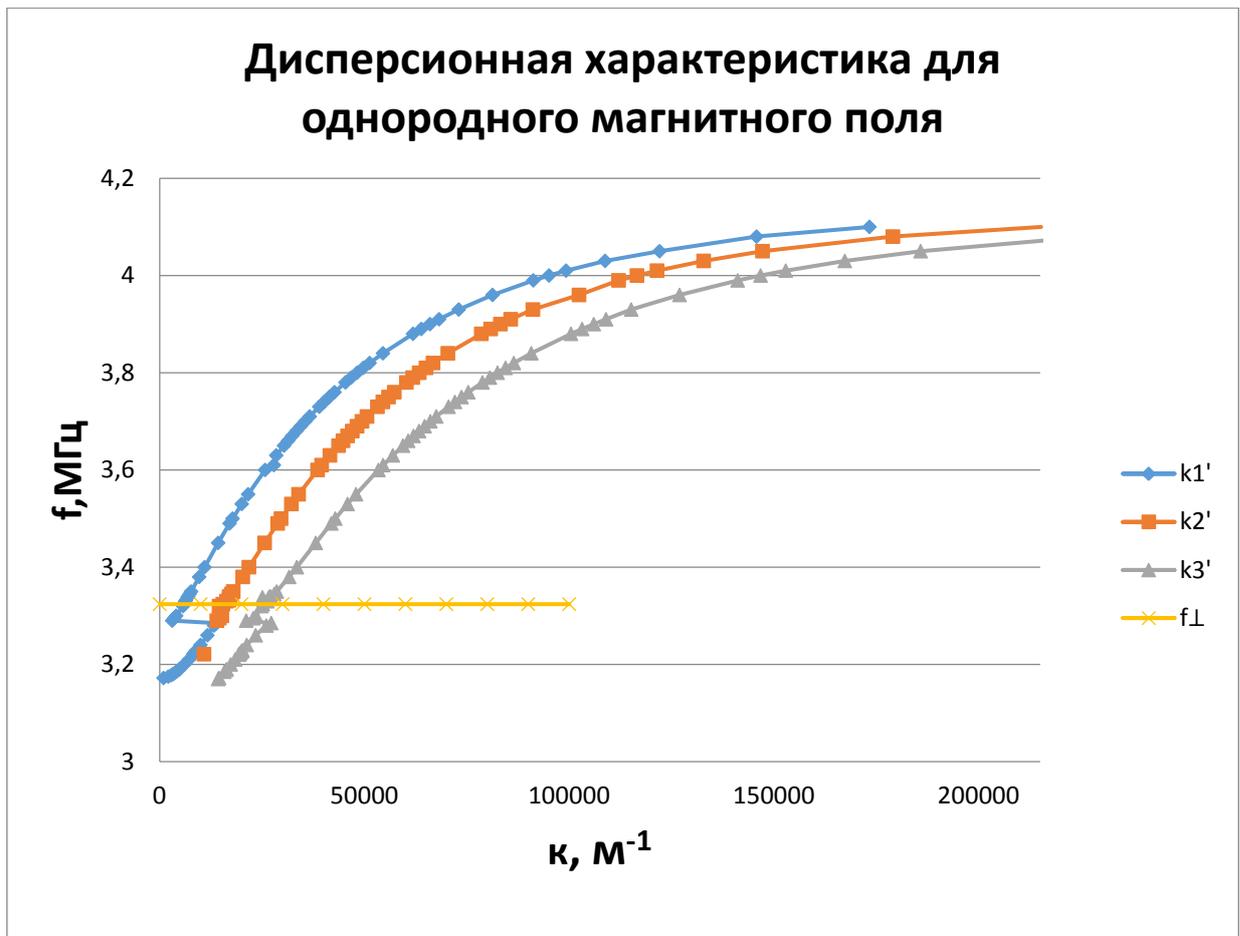


Рис.2 Дисперсионная характеристика для однородного магнитного поля.

Здесь k_1' - 1 мода, k_2' - 2 мода, k_3' - 3 мода, f_L - линия ферро-магнитного резонанса равная (3,324).

На рис. 3 представлена дисперсионная характеристика для неоднородного магнитного поля. В данной работе это представляет наибольший интерес, так как практически все современные СВЧ устройства на магнитоэлектрических волнах строятся на основе планарной технологии с использованием тонких пленок магнитных материалов. Граничные условия в виде электрических и магнитных стенок позволяют моделировать поперечное сечение волновода, что вызывает переход от модели безграничной плёнки к волноводу конечной ширины и появлению ширинных мод, поведение которых зависит от ширины волновода. Граничные условия также сказываются на распространении волн, существенной особенностью металлизированного волновода с помещённой внутри ЖИГ плёнкой.

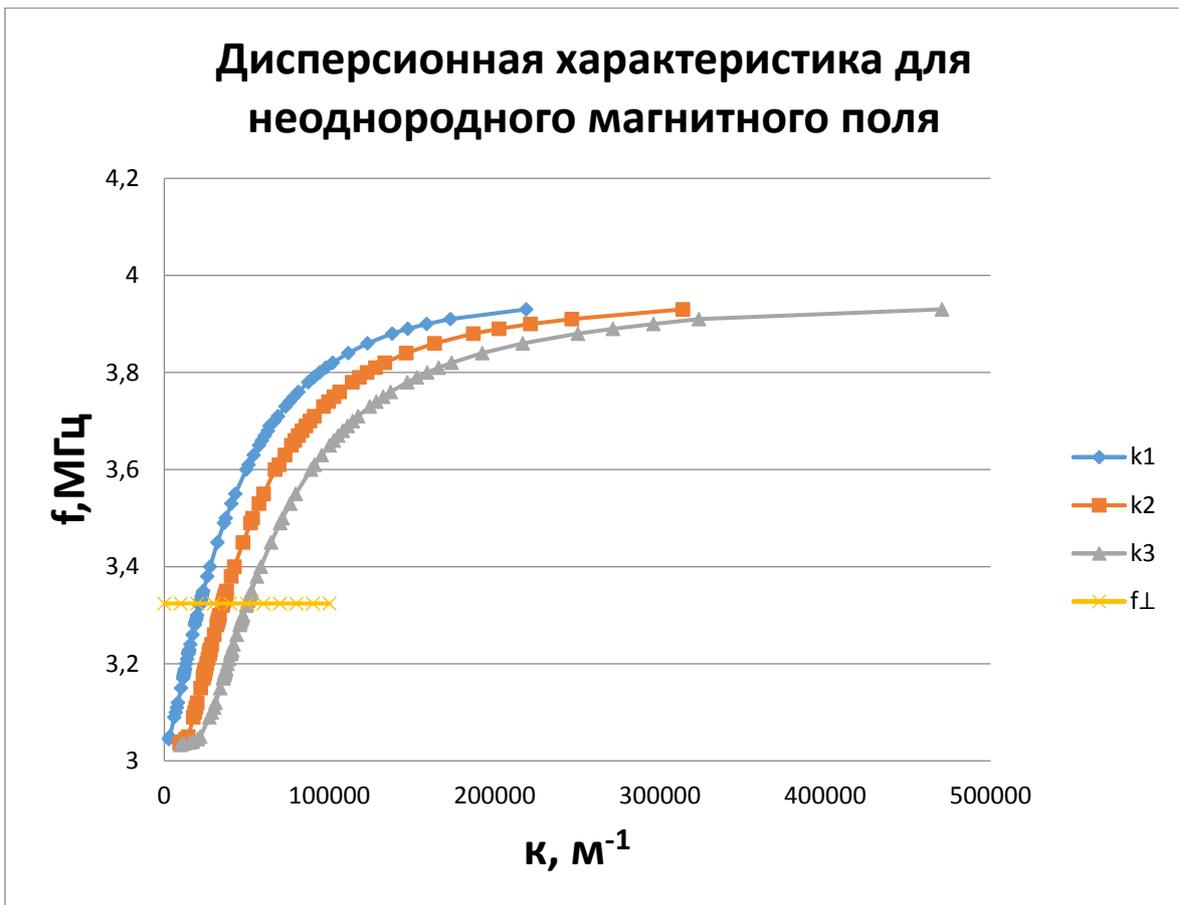


Рис.3 Дисперсионная характеристика для однородного магнитного поля. Здесь k_1' - 1 мода, k_2' - 2 мода, k_3' - 3 мода, f_{\perp} - линия ферро-магнитного резонанса равная (3,324).

Проведен расчет дисперсии ПМСВ в рассматриваемой структуре при помощи программы в расчетной системе COMSOL. В результате выполнения программы получают наборы волновых чисел. На следующем этапе отсеиваются волновые числа, имеющие комплексные значения, поскольку в реальной структуре могут существовать и быть измерены колебания только с действительными волновыми числами. Для идентификации принадлежности волновых чисел к определенным модам, рассматриваются распределения полей, например, компоненты E_x . На основе этих распределений получаем 3 волновых числа соответствующие первым трем модам в волноводе. Результаты расчета показаны на рис. 4. Характерные картины распределения

величин напряженностей электрического $|\vec{E}|$ и магнитного $|\vec{H}|$ полей показаны для первых трех ширинных мод.

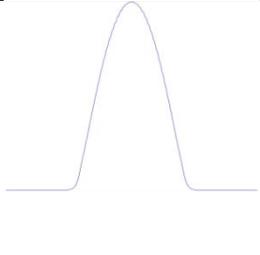
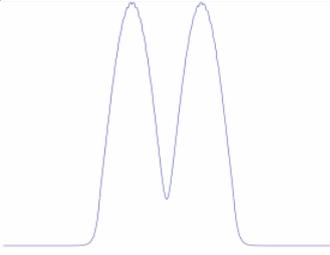
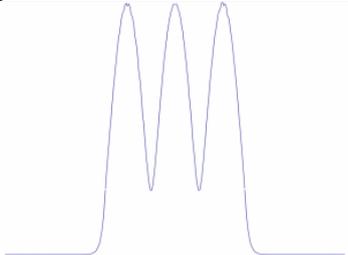
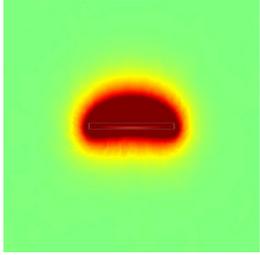
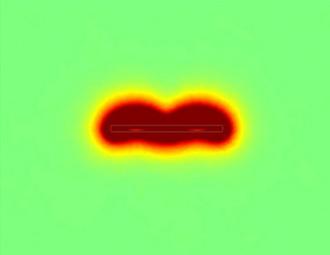
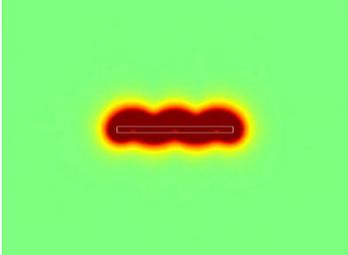
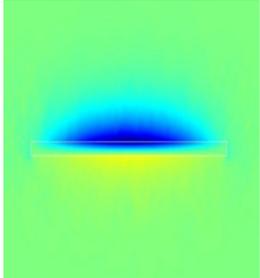
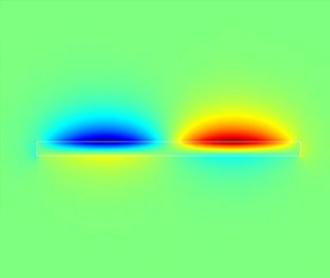
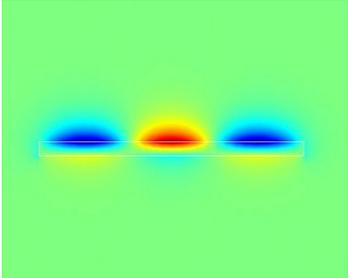
Номер моды	1 мода	2 мода	3 мода
Поперечное распределение $ E $ по ширине феррита			
Распределение для однородного поля $ \mathbf{E} , \mathbf{H} $ внутри расчетной области			
Распределение для неоднородного поля $ \mathbf{E} , \mathbf{H} $ внутри расчетной области			

Рис.4. Поперечное распределение $|E|$ по ширине феррита, распределение $|\mathbf{E}|$ и $|\mathbf{H}|$ внутри расчетной области для различных точек на дисперсионной кривой, отмеченных на рис 2 и рис 3.

Заключение

В ходе выполнения работы было исследовано дисперсионное соотношение для волн, распространяющихся в магнетонно-кристаллической структуре, представляющей собой пленку ЖИГ. Все современные устройства СВЧ на магнитостатических волнах строятся на планарной технологии с использованием тонких плёнок магнитных материалов. Были произведены расчёт дисперсии МСВ в однородном и неоднородных полях в программе COMSOL Multiphysics.

Основные выводы, которые можно сделать из моей работы: учет внешнего неоднородного поля приводит к смещению частотных границ распространения МСВ, а так же приводит к изменению ширины полосы возбуждения МСВ.

Список использованной литературы

1. T.W. O’Keeffe, R.W.Patterson, Magnetostatic surface-wave propagation in finite samples, J. Appl. Phys. 67 (1978) 4868-4895.
2. Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. - Саратов: СГУ, 1993. 34– 312 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука. 1982
4. В.С. Стальмахов, А.А. Игнатъев. Лекции по спиновым волнам. Часть 1. Саратов: издательство СГУ, 1983.
5. Садовников А. В., Рожнёв А. Г. Моделирование распространения магнитостатических волн в одномерных магнитных кристаллах // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2012. Т. 20, №. 1. С. 143–159.
6. Silvester P.P., Ferrari R.L. Finite Elements for Electrical Engineers (3rd edition). Cambridge University Press. 1996. граничные условия.
7. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. - Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994
8. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988
9. Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Физматлит, 1973
10. Белокопытов Г.В. Волны в направляющих структурах. 2008г. 3-4с.
11. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. - Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994
12. Damon R.W., Eshbach J.R. Magnetostatic modes of a ferromagnet slab // J. Phys. Chem. Solids. 1961. V. 19, P. 308.